

původní práce

Optimalizace radiační zátěže radiačních pracovníků při CT intervenčních výkonech

Optimization of radiation protection of medical personnel during the CT guided interventional procedures

Stanislav Kaczor¹, Kamila Kulhová¹, Radek Pádr², Miloslav Roček²

¹Samostatné oddělení lékařské fyziky FN Motol, Praha

²Klinika zobrazovacích metod 2. LF UK a FN Motol, Praha

Hlavní stanovisko práce

Optimalizace radiační ochrany na pracovišti, kde se provádějí intervence pod kontrolou CT, dokáže radikálně snížit radiační zátěž intervenujících.

SOUHRN

Kaczor S, Kulhová K, Pádr R, Roček M. Optimalizace radiační zátěže radiačních pracovníků při CT intervenčních výkonech

Intervenční výkony pod kontrolou CT patří mezi nejnáročnější z hlediska radiační ochrany personálu. Intervenující lékař musí stát velice blízko u CT skeneru a při některých výkonech je nutné, aby držel ruce přímo v primárním svazku. Pomocí různých typů a umístění dozimetrů byla analyzována radiační zátěž intervenujících. Následně byly zavedeny prostředky ochrany personálu před zářením – jako například snížení expozičních parametrů, využití konstrukce CT skeneru jako stínění a edukace radiologických asistentů s důrazem na využití softwarové ochrany. Z naměřených dat byla analyzována účinnost zavedených doporučení. Průměrnou radiační zátěž na výkon PRT v oblasti L5/S1 měřenou na rukou intervenujícího lékaře se za dobu měření v rámci optimalizace podařilo snížit až o 57 % ze 41,0 μ Sv na 17,6 μ Sv a průměrnou radiační zátěž měřenou na hrudníku intervenujícího lékaře až o 76 % z 5,0 μ Sv na 1,2 μ Sv.

Klíčová slova: CT, intervenční, optimalizace, radiační ochrana.

Major statement

Optimization of radiation protection at the department of radiology where CT guided interventions are performed, can considerably reduce the radiation exposure of interventional physicians.

SUMMARY

Kaczor S, Kulhová K, Pádr R, Roček M. Optimization of radiation protection of medical personnel during the CT guided interventional procedures

Interventional procedures guided by CT are one of the most dangerous from the aspect of radiation protection. The radiologist performing interventional procedures must stand very close to CT scanner. Moreover, during some of the interventional procedures the radiologist has to hold his hand directly in the CT scanner beam. To acquire the radiation dose data needed for radiation protection analysis, various types of detectors and monitoring locations were used. Countermeasures like modifications of exposition parameters, the usage of CT scanner construction as shielding during the CT fluoroscopy, the education of technologists with an emphasis on software protection and others were presented and implemented to optimize the radiation protection of radiologists performing interventional procedures guided by CT fluoroscopy. From the data collected, the efficiency of implemented countermeasures was calculated. The average hand radiation dose during the PRT (L5/S1) intervention of interventional radiologists was decreased by 57% from 41.0 μ Sv to 17.6 μ Sv. The average hand radiation dose of interventional radiologists was decreased by 76% from 5.0 μ Sv to 1.2 μ Sv.

Key words: CT, interventional, optimization, radiation protection.

Přijato: 21. 4. 2019.

Korespondenční adresa:

Ing. Stanislav Kaczor
Samostatné oddělení lékařské fyziky Fakultní nemocnice v Motole
V Úvalu 84, 150 06 Praha
e-mail: stanislav.kaczor@fnmotol.cz

Konflikt zájmů: žádný.

Poděkování patří lékařům a radiologickým asistentům z Fakultní nemocnice v Motole za pomoc při realizaci tohoto výzkumu. Také bych rád poděkoval společnosti Biomedica ČS, s. r. o. za poskytnutí detektoru Unfors EDD-30.

ÚVOD

Dle principu radiační ochrany ALARA (as low as reasonably achievable) je nutné zabezpečit optimalizaci radiační zátěže radiodiagnostických a intervenčních výkonů a snížit ji na úroveň, která je rozumně dosažitelná při respektování ekonomických a sociálních hledisek.

Intervenční výkony prováděné pod kontrolou CT patří mezi nejnáročnější z hlediska radiační zátěže personálu. Intervenující lékař musí stát velice blízko u gantry CT a při některých výkonech je nutné, aby držel ruce přímo v primárním svazku záření.

Intervenční výkon prováděný na CT se skládá z lokalizačního skenu, který poskytuje vstupní data pro automatickou modulaci proudu a přesnější zaměření následného plánovacího helikálního skenu, který tvoří hlavní část radiační zátěže pacienta, a proto rozsah tohoto skenu musí být ohraničen na minimum. V helikálním skenu si intervenující lékař z ovladovny prohlédne vyšetřovanou oblast a naplánuje postup výkonu. Následně se přesune na operační sál vybavený vhodným CT skenerem, kde pomocí několika CT fluoroskopií (sekvenční skeny) pro navigaci instrumentu provede intervenční výkon. Po intervenčním výkonu se dle rozhodnutí lékaře může provést další helikální sken operované oblasti, pro kontrolu úspěšnosti výkonu. V čase provádění helikálních skenů by měl být intervenující lékař v ovladovně, a tak je z pohledu radiační ochrany personálu nejnужnější optimalizovat protokoly CT fluoroskopie.

Radiační zátěž každého pracovníka se kumuluje z každého vystavení ionizujícímu záření. Je důležité zajistit, aby nedošlo k překročení limitů pro radiační pracovníky uvedené ve vyhlášce 422/2016 Sb., Vyhláška o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje (1). Tato situace může nastat nejen na pracovištích s nedostatkem intervenujících lékařů. Proto by optimalizace radiační zátěže intervenujících lékařů měla být jednou z priorit radiační ochrany na radiodiagnostických odděleních.

Biopsie, drenáže a periradikulární terapie (PRT) patří mezi nejčastější typy intervenčních výkonů prováděných na našem CT pracovišti. Pro kvantifikaci a analýzu radiační zátěže byla vybrána PRT pod kontrolou CT v okolí obratle L5. Tento zákrok má menší rozptyl zkoumaných parametrů než jiné intervenční

1 Polovodičový detektor Unfors EDD-30
Semiconducting detector Unfors EDD-30



výkony, protože intervenující umísťuje jehlu vždy do obdobné pozice a náročnost výkonů se neliší tolik, jako u jiných intervenčních výkonů. Dle studie Daníčkové a spol. (2) představuje sice výkon PRT nejmenší radiační zátěž ze všech intervenčních výkonů pod kontrolou CT, avšak jeho četnost za rok 2014 byla oproti ostatním výkonům na pracovišti dvojnásobná (2).

Pomocí několika typů různě umístěných dozimetrů byla získána data pro analýzu dávek obdržených našimi čtyřmi intervenujícími lékaři. Na základě vlastních měření a informací z publikací byla stanovena obecná i konkrétní doporučení ke snížení radiační zátěže. Dalšími měřeními byla následně analyzována účinnost aplikovaných doporučení. Všechna uvedená měření byla provedena na CT přístroji Siemens Somatom Force.

METODY MĚŘENÍ

Měření byla provedena ve veličině osobní dávkový ekvivalent $H_p(d)$, což je dávkový ekvivalent v určitém bodě pod povrchem těla hloubce d , kde dávkový ekvivalent je součin absorbované dávky v určitém bodě tkáně a jakostního faktoru vyjadřujícího rozdílnou biologickou účinnost různých druhů ionizujícího záření (1). Rozměrem dávkového ekvivalentu je joule na kg (Jkg^{-1}) a jednotkou je Sievert (Sv) (3). Pro hodnocení množství záření dopadající na tělo intervenujícího lékaře byla měřena veličina osobní dávkový ekvivalent $H_p(10)$ v hloubce $d = 10$ mm a pro hodnocení dávky na ruce osobní dávkový ekvivalent $H_p(0,07)$ v hloubce $d = 0,07$ mm.

Pro přesnější výpočet efektivity jednotlivých doporučení a změn nastavení

CT, bylo měření rozděleno na tři etapy. V první etapě byla sledována radiační zátěž pracovníků před aplikací doporučení a optimalizací expozičních parametrů. Ve druhé etapě byla měřena účinnost doporučení pro zlepšení postupů lékařů. Ve třetí etapě byl navíc sledován efekt optimalizace expozičních parametrů společně s již zavedenými změnami z druhé etapy. Pro porovnání postupů lékařů a efektivity doporučení byly naměřené hodnoty normovány radiační zátěží pacienta (parametr DLP u CT fluoroskopie) při dané CT fluoroskopii. Pro zkoumání účinnosti optimalizace expozičních parametrů nebyly hodnoty normovány dle radiační zátěže, protože radiační zátěž byla optimalizací expozičních parametrů úmyslně snížena. U všech naměřených hodnot byly vyloučeny chybné hodnoty, které byly většinou způsobené neopatrným zacházením s měřicí technikou nebo jejím nedostatečným upevněním.

Pro CT fluoroskopii u intervenčních výkonů PRT v oblasti L5/S1 bylo použito středně silné rekonstrukční jádro BR40. Funkce CARE Dose byla z důvodu manuální optimalizace po dobu výzkumu vždy vypnutá. Funkce CARE kV, CARE Dose 4D a iterativní rekonstrukce jsou u intervenčních CT fluoroskopií nedostupné.

Měření radiační zátěže rukou

- veličina: kumulovaný dávkový ekvivalent, dále jen KDE
- veličina, ve které byl kalibrován dozimetr: osobní dávkový ekvivalent $H_p(0,07)$
- umístění: více exponovaná ruka intervenujícího, dorzální část (obr. 1)
- dozimetr: polovodičový detektor Unfors EDD-30 (obr. 1) s izotropní úhlovou odezvou (4)



2 **Dozimetr DMC 2000 S**
Dosimeter DMC 2000 S

Měření radiační zátěže na tělo

- veličina: osobní dávkový ekvivalent $H_p(10)$
- umístění: více exponována část hrudníku intervenujícího pro daný výkon
- dozimetr: elektronický DMC 2000 S (obr. 2)

osy stolu CT (nejbližší možná pozice), střed velkoobjemové ionizační komory je ve výšce 115 cm, efektivní bod 82 mm od přední strany ve středu komory (obr. 4).

VÝSLEDKY MĚŘENÍ PŘED ZMĚNAMI (1. ETAPA)

Následující výsledky byly vyhodnoceny na základě 37 měření, z toho 7 měření lékaře A, 10 měření lékaře B, 10 měření lékaře C a 10 měření lékaře D. Všechny hodnoty byly získané u intervenčních výkonů PRT v oblasti L5/S1.

Referenční měření

- veličina: kerma ve vzduchu
- umístění: symetricky k pozici lékaře na druhé straně stolu
- dozimetr: velkoobjemová ionizační komora Radcal (obr. 3) o objemu 1800 cm³
- geometrie: 90 cm kolmo od frontální stěny CT, 70 cm kolmo od centrální

Porovnání radiační zátěže na hrudníku

V grafu 1 je znázorněna normovaná radiační zátěž pro jednotlivé intervenující lékaře, která je stanovena jako průměr hodnot osobního dávkového ekvivalentu $H_p(10)$ měřeného při výkonech PRT v poměru k DLP na daný výkon (průměr z $(H_p(10)/DLP)$).

DLP je anglická zkratka veličiny dose-length product, odpovídající součinu $CTDI_{vol}$ a délky skenovaného objemu. Slouží pro vyjádření celkové energie ionizujícího záření dodaného do referenčního fantomu (5). V našem případě se jednalo vždy o CTDI fantom těla.

Porovnání radiační zátěže na ruce

V grafu 2 je znázorněna normovaná radiační zátěž pro jednotlivé intervenující lékaře, která je stanovena jako průměr hodnot KDE měřeného na ruku

3



4



5



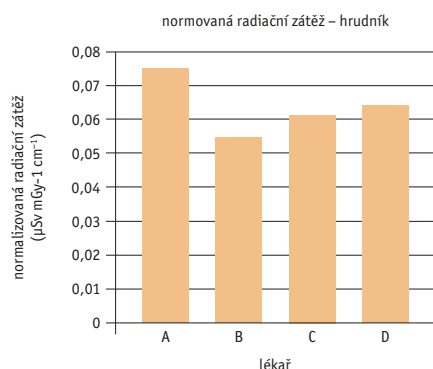
3 **Velkoobjemová ionizační komora Radcal 10X6-1800**

The Radiation Protection Ion Chamber Radcal 10X6-1800

4 **Pozice velkoobjemové ionizační komory Radcal 10X6-1800**

The position of the Radiation Protection Ion Chamber Radcal 10X6-1800

5 **Sektory softwarové ochrany CT CT Software protection – sectors**

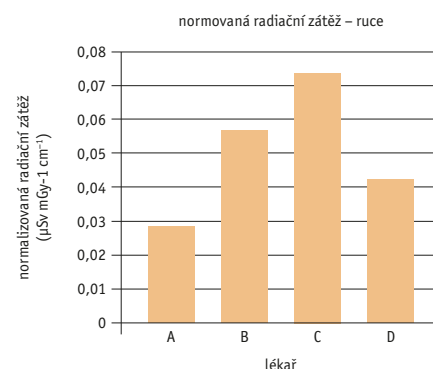
Graf 1. Porovnání radiační zátěže hrudníku čtyř lékařů provádějících intervence**Graph 1. The comparison of radiation exposure of chest amongst four interventional physicians**

v poměru k DLP na daný výkon (průměr z (KDE/DLP)).

Z analýzy grafů 1 a 2 je vidět rozdílnost pracovních postupů a ochrany před zářením u jednotlivých lékařů. V tabulce 1 jsou uvedeny výsledky měření první etapy, ve které nebyla zavedena doporučení ani optimalizace expozičních parametrů.

Výsledky první etapy ukázaly, že softwarová ochrana CT dokáže razantně snížit radiační zátěž intervenujícího. Bez softwarové ochrany vzrostl KDE na ruce při jednom z výkonů na 176 μSv, což je více než čtyřnásobek průměrné radiační zátěže na ruce. Dle studie Daníčkové a spol. (2) je právě použití softwarové ochrany mnohem důležitější než použití ochranných pomůcek, jako jsou například ochranné rukavice nebo roušky.

Pozice rukou v průběhu CT fluoroskopie měla značný efekt na radiační zátěž lékaře. Když si intervenující lékař, kterého průměrná radiační zátěž naměřená v první etapě byla výrazně nižší než ostatních lékařů, nedával pozor na správnou pozici ruky a zbytečně ji

Graf 2. Porovnání radiační zátěže rukou čtyř lékařů provádějících intervence**Graph 2. The comparison of radiation exposure of hands amongst four interventional physicians**

ponechal v primárním svazku, radiační zátěž ruky u výkonu byla KDE = 30 μSv. U následujícího výkonu byla radiační zátěž jen KDE = 11 μSv, přičemž radiační zátěž pacienta (DLP) u CT fluoroskopie těchto výkonů byla srovnatelná.

DOPORUČENÍ KE SNÍŽENÍ RADIAČNÍ ZÁTĚŽE (2. ETAPA)

Softwarová ochrana rukou u CT intervenčních výkonů

Softwarová ochrana rukou u CT intervenčních výkonů slouží pro snížení radiační zátěže personálu při intervenčních výkonech prováděných pod kontrolou CT. Pomocí softwarové ochrany CT Siemens Somatom Force s názvem HandCARE® je možné vypnout záření v jednom ze třech sektorů o šířce 100°, v polohách 10 hodin, 12 hodin a 2 hodiny (obr. 5), které se volí dle pozice intervenujícího lékaře u výkonu.

Publikované výsledky ukazují na snížení radiační zátěže rukou při použití softwarové ochrany až o 2/3 (2).

Softwarovou ochranu rukou při CT fluoroskopii je na CT Somatom Force nutné zapnout manuálně. Proto je nutné se vždy před intervenčním výkonem ujistit o zapnutí a správném nastavení softwarové ochrany. Volba vhodného sektoru softwarové ochrany rukou je velice důležitá. V případě, že jsou ruce lékaře v primárním svazku, zvolí se logicky sektor softwarové ochrany, ve kterém intervenující lékař drží jehlu. Pokud se ale ruce lékaře v primárním svazku nenacházejí, doporučujeme na základě našich měření zapínat boční sektory softwarové ochrany dle pozice lékaře.

Pozice intervenujícího lékaře u výkonu

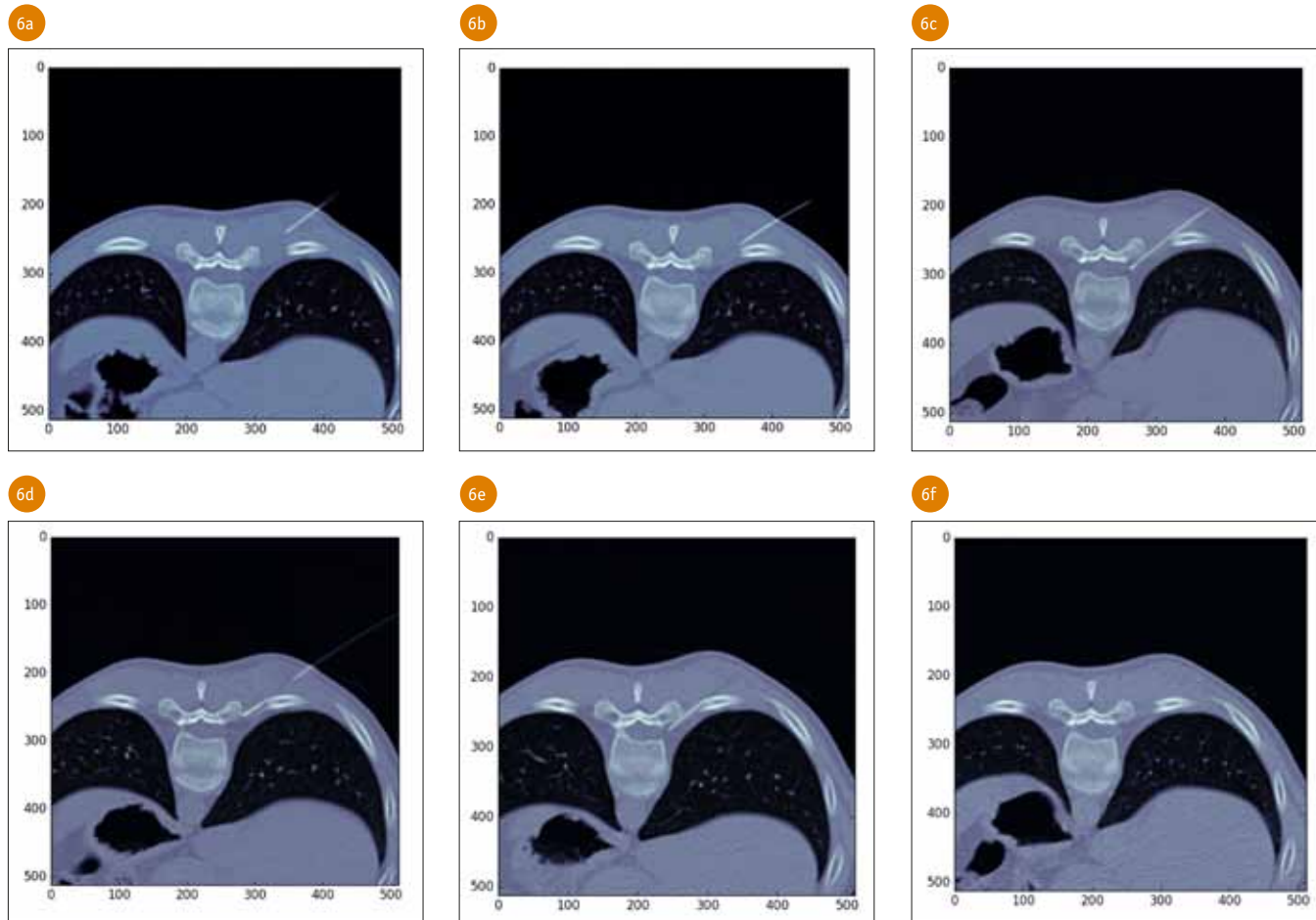
Pozice a vhodné pracovní postupy intervenujícího lékaře u CT fluoroskopie mají razantní vliv na jeho radiační zátěž. Základním vybavením intervenujícího lékaře by měli vždy být ochranný límec a zástěra (případně set vesta a sukně). Rovněž je doporučeno chránit si oči použitím ochranných brýlí určených pro práci při zvýšené radiační zátěži. Pro snížení radiační zátěže personálu je vhodné využívat i stínění vlastní konstrukcí CT přístroje. Je také prospěšné opětovné obeznámení intervenujících lékařů o výrazném rozdílu při umístění rukou v místě průchodu primárního svazku a mimo něj. Malý moment v přímém svazku zvýší radiační zátěž na ruce několikanásobně. Před CT fluoroskopií je doporučeno zvolit vhodnou pozici nožního spínače tak, aby nutil při expozici odstupovat intervenujícího dále od gantry CT, ideálně tak, aby byl intervenující zároveň stíněný konstrukcí CT.

VÝSLEDKY MĚŘENÍ PO ZAVEDENÍ DOPORUČENÍ (2. ETAPA)

Dle 39 hodnot naměřených ve druhé etapě měření se nám pomocí aplikace našich doporučení podařilo snížit u intervenujících lékařů průměrný KDE na ruce na 68 % hodnoty naměřené v první etapě. Průměrný naměřený osobní dávkový ekvivalent $H_p(10)$

Tab. 1. Hodnoty naměřené v první etapě u zákroků PRT v oblasti L5/S1**Table 1. Data measured during the PRT (L5/S1) interventional procedures within the first stage of experiment**

Měřená veličina	Minimum naměřených hodnot	Maximum naměřených hodnot	Průměr naměřených hodnot
KDE – ruce	5 μSv	143 μSv	41 μSv
$H_p(10)$ – hrudník	1 μSv	18 μSv	5 μSv



na hrudníku se podařilo zredukovat na polovinu hodnoty naměřené v první etapě. V tabulce 2 jsou uvedeny výsledky měření druhé etapy, ve které byla zavedena doporučení pro snížení radiační zátěže personálu.

OPTIMALIZACE EXPOZIČNÍCH PARAMETRŮ (3. ETAPA)

Nastavení nižších expozičních parametrů při CT fluoroskopii může významně snížit radiační zátěž personálu a pacientů. Snížování ovšem musí probíhat za blízké spolupráce radiologického fyzika, radiologického asistenta

a intervenujícího lékaře, neboť kvalita obrazu musí být vždy dostatečná k bezpečnému provedení výkonu.

Radiační zátěž pacienta z daného skenu je přímo úměrná elektrickému množství. Snížení elektrického množství při zachování stejných rekonstrukčních parametrů zvýší šum, čímž sníží kvalitu obrazu, neboť na detektor dopadne menší množství záření. Avšak pro CT fluoroskopie stačí, aby byl v obraze pro intervenujícího lékaře jasně rozeznatelný cíl daného výkonu a instrument, kterým je výkon prováděn, neboť nejvhodnější trajektorie zavedení již byla vybrána při plánování z helikálního skenu. Při porovnání parametrů zobrazení u snímků s rozdílnými expozičními parametry je možné sledovat zhoršení

6 Zobrazení intervenčního výkonu PRT (laterální průměr pacienta 45 cm) při expozičních parametrech: (a) 120 kV a 60 mAs; (b) 120 kV a 50 mAs; (c) 120 kV a 40 mAs; (d) 120 kV a 30 mAs; (e) 120 kV a 20 mAs; (f) 120 kV a 10 mAs

Images of a PRT intervention (lateral diameter of the patient 45 cm) with following exposition parameters: (a) 120 kV, 60 mAs; (b) 120 kV, 50 mAs; (c) 120 kV, 40 mAs; (d) 120 kV, 30 mAs; (e) 120 kV, 20 mAs; (f) 120 kV, 10 mAs

kvality obrazu (rozlišení při nízkém kontrastu), ale zhoršení kvality obrazu u těchto výkonů často neovlivní jejich proveditelnost (obr. 6a–f).

U výkonů jako PRT, kde je cílový objem dostatečně kontrastní, je proto možné velmi razantně snížit radiační zátěž. Tato změna byla v rámci třetí etapy prováděna pomocí snížení elektrického množství. Při změně expozičních parametrů jsme vycházeli z dat uvedených v práci Lamba (6). Vizualní informace pro vykonání výkonu PRT byla u hubených pacientů pro zkušené intervenující lékaře dostatečná i při nejnižším možném nastavení elektrického množství pro danou CT fluoroskopii u intervenčních výkonů (obr. 6a–f), což na CT přístroji Siemens Somatom Force

Tab. 2. Hodnoty naměřené ve druhé etapě u zákroků PRT v oblasti L5/S1

Table 2. Data measured during the PRT (L5/S1) interventional procedures within the second stage of experiment

Měřená veličina	Minimum naměřených hodnot	Maximum naměřených hodnot	Průměr naměřených hodnot
KDE – ruce	2,5 μ Sv	96 μ Sv	28 μ Sv
H _p (10) – hrudník	1 μ Sv	18 μ Sv	2,5 μ Sv

Tab. 3. Porovnání přednastaveného a upraveného elektrického množství pro dané intervenční výkony

Table 3. The comparison of default and optimized quantities of electricity for given interventional procedures

Výkon	Přednastavené elektrické množství (mAs)	Upravené elektrické množství (mAs)
PRT v oblasti pánve	60	20
PRT v oblasti krku	60	10
biopsie s nízkým kontrastem vyšetřované oblasti	50	30
biopsie s vysokým kontrastem vyšetřované oblasti	50	10

byla hodnota 8 mAs. Avšak takto nízká hodnota elektrického množství byla vzhledem k většinovému počtu pacientů s nadváhou nepraktická. V rámci optimalizace proto byly přednastaveny hodnoty elektrického množství na ovládacím panelu CT tak, aby je radiologický asistent musel adaptovat pouze pro objemnější pacienty. Změny expozičních parametrů jsou uvedeny v tabulce 3.

Možnosti nastavení napětí na CT jsou většinou omezené a pro některé výkony standardizované. Na některých přístrojích jsou k dispozici pouze možnosti 80, 100, 120 a 140 kV (jiné modely CT přístrojů poskytují jemnější dělení). Malé změny, které by poskytly možnost přesné optimalizace nastavením napětí na rentgence, v našem případě nebyly možné. Většina intervenčních výkonů na pracovišti je standardně prováděna použitím napětí 120 kV. Se snížením napětí předpokládáme snížení radiační zátěže personálu z dané CT fluoroskopie, avšak kvalita výsledné obrazové informace může být odlišná. Postup optimalizace je proto nutné velice pečlivě konzultovat s každým intervenujícím lékařem na pracovišti, a proto budou změny napětí v budoucnosti zkoumány jako čtvrtá etapa tohoto výzkumu. V prvních třech etapách výzkumu obsažených v této práci bude ponechána

hodnota 120 kV pro všechny zkoumané výkony.

VÝSLEDKY MĚŘENÍ PO ZAVEDENÍ DOPORUČENÍ A OPTIMALIZACI EXPOZIČNÍCH PARAMETRŮ (3. ETAPA)

Vzhledem k předpokladu úměrnosti radiační zátěže a elektrického množství byla předpokládána redukce radiační zátěže pracovníků úměrná snížení tohoto expozičního parametru. Pomocí optimalizace expozičních parametrů CT fluoroskopie (3. etapa) se podařilo docílit 40–80% snížení elektrického množství při zachování dostatečné obrazové informace pro provedení výkonu. Výsledky deseti potvrzujících měření třetí etapy ukazují, že kombinovaný efekt aplikace našich doporučení spolu se změnou expozičních parametrů snižují u intervenujících lékařů průměrný naměřený osobní dávkový ekvivalent $H_p(10)$ na hrudníku až o 76% hodnoty získané v první etapě a průměrný KDE na ruce až o 57% hodnoty získané v první etapě, což je v souladu s předpokladem úměrnosti radiační zátěže

a elektrického množství. Výsledky měření třetí etapy jsou uvedeny v tabulce 4.

Protože CT fluoroskopie tvoří zhruba 15% celkové radiační zátěže pacienta z intervenčního PRT vyšetření, jak je uvedeno v Kloeckner et al. (7), byla optimalizací expozičních parametrů snížena také radiační zátěž pacienta o přibližně 6–12%.

Z výsledků měření byl rovněž pozorován efekt nesymetrické konstrukce CT skeneru na radiační zátěž personálu. Jak je možné vidět na obrázku 5, pravá strana konstrukce CT je větší než levá. Výsledky po zavedení doporučení ukazují na 10% zvýšení radiační zátěže na menší straně CT.

DISKUSE

Intervence pod kontrolou CT jsou rychlé léčebné zákroky, které dokážou efektivně nahradit otevřené chirurgické výkony či jinak neřešitelné zdravotní stavy. Vzhledem k náročnosti těchto výkonů z hlediska radiační ochrany personálu by vždy měla být zvážena možnost použití ultrazvuku, případně alternativní zobrazovací modalit, která by poskytla dostatečnou prostorovou informaci pro daný výkon.

Neexistence přesně definovaných protokolů pro specifické intervenční výkony prováděné pod kontrolou CT, nedostatečné zaškolení radiologických asistentů způsobující používání přednastavených „továrních“ hodnot a chybný předpoklad, že i s malým snížením expozičních parametrů se kvalita obrazu vždy dramaticky sníží, vedou ke zbytečně zvýšené radiační zátěži lékaře i pacienta při intervenčních výkonech prováděných pod kontrolou CT.

Dle práce Paulson et al. (8) zabývající se měřením dávek při intervenčních výkonech byl publikován průměrný naměřený osobní dávkový ekvivalent $H_p(10)$ 25 μSv pro různé druhy intervenčních výkonů. Rozsah u různých výkonů byl od 7 μSv do 48 μSv (8). V práci (9) byl průměrný naměřený osobní dávkový ekvivalent $H_p(10)$ pod 10 μSv , s maximem 28 μSv pro různé druhy intervenčních výkonů.

Před zavedením změn (první etapa) byl průměrný osobní dávkový ekvivalent $H_p(10)$ pro intervenční výkony PRT na našem pracovišti 5 μSv . Rozsah naměřených hodnot $H_p(10)$ se pohyboval od 1 μSv do 18 μSv . Hodnota $H_p(10)$

Tab. 4. Hodnoty naměřené ve třetí etapě u zákroků PRT v oblasti L5/S1

Table 4. Data measured during the PRT (L5/S1) interventional procedures within the third stage of experiment

Měřená veličina	Minimum naměřených hodnot	Maximum naměřených hodnot	Průměr naměřených hodnot
KDE – ruce	2,5 μSv	45 μSv	17,6 μSv
$H_p(10)$ – hrudník	1 μSv	2 μSv	1,2 μSv

ve většině případů rostla se zvyšujícím se DLP u daného výkonu pro daného lékaře. Ve výjimečných případech kdy lékař odstoupil mnohem dál od CT (důvodem mohla být přítomnost fyzika), byla tato závislost narušena. Rozdíl mezi osobním dávkovým ekvivalentem $H_p(10)$ pro intervenční výkon na našem pracovišti a osobním dávkovým ekvivalentem $H_p(10)$ uvedeným v publikacích je způsoben použitím modernějšího typu CT Siemens Somatom Force a také tím, že výkon PRT patří z hlediska radiační zátěže k méně náročným intervenčním výkonům. Pro pokračování výzkumu by bylo vhodné použití modernější a přesnější dozimetrické techniky.

Hodnota KDE na ruce ve většině případů rostla se zvyšujícím se DLP u daného výkonu pro daného lékaře. Výjimkou z pravidla byly výkony, při kterých intervenující lékař držel ruce v nevhodné pozici (náročnost výkonu, únava).

Informování intervenujících lékařů a radiologických asistentů vedlo k výraznému snížení radiační zátěže, avšak až dlouhodobá měření prokážou osvojení správných postupů. K udržení dobré praxe a poučení nového personálu je nutné pravidelně prezentovat doporučení uvedená v této studii.

Jednou z dalších možností snížení radiační zátěže na ruce intervenujícího je použití ochranných jednorázových sterilních rukavic s daným ekvivalentem olova, definujícím jejich stínící vlastnosti, avšak u některých typů rukavic jejich použití může vést ke snížení citlivosti hmatu. Při použití rukavic kromě

snížení citlivosti rukou intervenujícího vzniká riziko automatického navýšení expozičních parametrů, konkrétně proudu rentgenky, a tomu je nutné za každou cenu předejít. Další možností je použití ochranné jednorázové sterilní roušky s vrstvou stínícího záření, které jsou využívány u klasických intervenčních výkonů jako efektivní způsob snížení rozptýleného záření z pacienta, avšak při intervenčních výkonech pod kontrolou CT je efekt použití stínící roušky nižší (2).

U některých výkonů je nutné držet nástroj rukou přímo v primárním svazku, jinak může dojít k narušení pozice tohoto instrumentu. U těchto výkonů doporučujeme snižovat radiační zátěž hlavně použitím softwarové ochrany CT, optimalizací expozičních parametrů, použitím osobních ochranných pracovních prostředků a dle možností také jednorázových ochranných pomůcek (10).

Budoucím prostředkem pro snížení radiační zátěže při CT navigovaných intervenčních výkonech by mohla být instalace stropního štítu na robotickém rameni. Ideální by bylo umístění ovladače štítu přímo u nožního spínače CT fluoroskopie. Před CT fluoroskopií by po aktivaci ovladače štít klesl na úroveň stolu a následně, hned po ukončení CT fluoroskopie by se přemístil do pozice, ve které by nepřekážel provedení výkonu (například ke stropu). Další možností redukce radiační zátěže personálu je optimalizace napětí s následnou nutnou adaptací elektrického množství, což bude v budoucnosti zkoumáno jako čtvrtá etapa výzkumu.

ZÁVĚR

Při provádění intervenčních výkonů pod kontrolou CT je třeba mít na paměti, že radiační zátěž personálu bez optimalizace radiační ochrany u těchto výkonů může být vysoká. Proto je nutné optimalizovat expoziční parametry CT fluoroskopie a vzdělávat intervenující lékaře, ale i radiologické asistenty o možnostech zlepšení radiační ochrany. Na pracovišti Fakultní nemocnice v Motole byla pomocí optimalizace expozičních parametrů a edukace personálu zredukována radiační zátěž na rukou intervenujících pod kontrolou CT u zákroků PRT v oblasti L5 o 57 % a v oblasti hrudníku až o 76 %. ●

LITERATURA

1. Státní úřad pro jadernou bezpečnost. Vyhláška č. 422/2016 Sb., Vyhláška o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje, v aktuálním znění.
2. Daníčková K, Chmelová D, Suchánek V, Pádr R, Roček M. Radiační zátěž u intervenčních výkonů při použití CT fluoroskopie – první zkušenosti. Ces Radiol 2016; 70(2): 93–99.
3. ICRP, 2007. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37 (2-4). Dostupné z: <http://www.icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%20103>
4. Rosalina instruments: Unfors EDD-30 [online] [cit. 2018-12-24]. Dostupné z: <http://www.rosalina.in/radiation-protection-in-fluoroscopy.html>
5. Sūkupová L. Co představuje parametr CTDIVOL uváděný CT skenery a je tento parametr skutečně vhodný pro stanovení dávek pacientům? Ces Radiol 2015; 69(3): 194–200.
6. Lamba R. Radiation dose optimization for CT-guided interventional procedures in the abdomen and pelvis. Journal of the American College of Radiology 2014; 11(3): 279–284.
7. Kloeckner R, et al. Radiation exposure in CT-guided interventions. European journal of radiology 2013; 82(12): 2253–2257.
8. Paulson EK, et al. CT fluoroscopy-guided interventional procedures: techniques and radiation dose to radiologists. Radiology 2001; 220(1): 161–167.
9. Teeuwisse WM, et al. Patient and staff dose during CT guided biopsy, drainage and coagulation. The British journal of radiology 2001; 74(884): 720–726.
10. Daníčková K, Pádr R, Chmelová D, Roček M. Speciální ochranné pomůcky pro intervenční radiologii – první zkušenosti. Ces Radiol 2015; 69(2): 122–128.